

## Elektrizitätslehre 2.



### Feldlinien

beginnen und enden in Ladungen (oder  $\infty$ )

Richtung: von + nach -

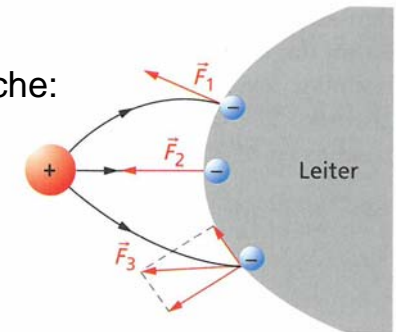
Richtung = Richtung der Kraft (+ Ladung!)

Dichte d. Feldlinien  $\sim$

Grösse der Kraft

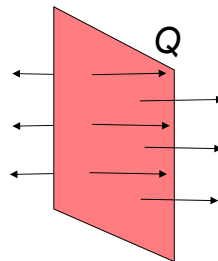
Feldlinien an Leiteroberfläche:  
Senkrecht!

Zur Erinnerung

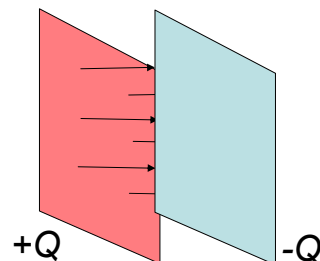


Typische Ladungsanordnungen:

Geladene Ebene

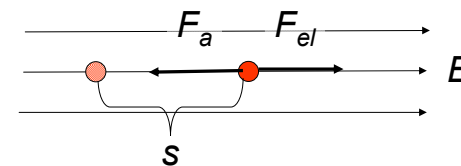


Kondensator  
(Homogenes Feld)



Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

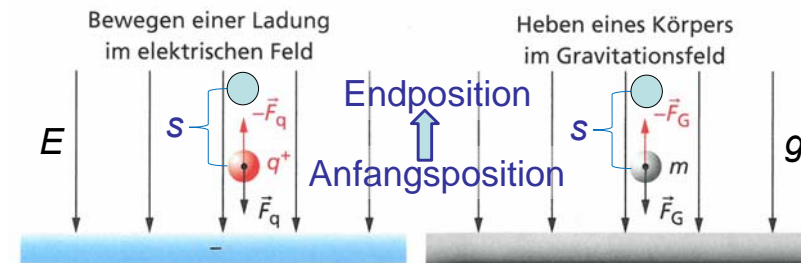
Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s = |\vec{F}_{el}| \cdot s = q|\vec{E}|s = qEs$$

## Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:

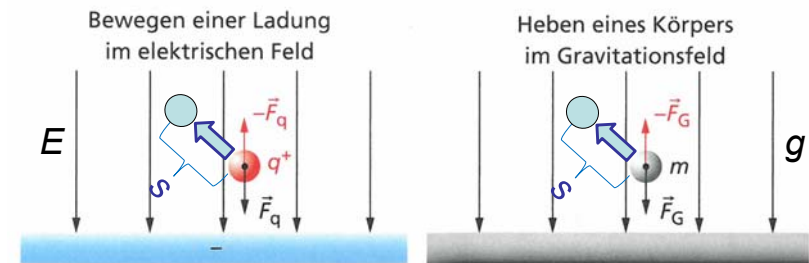


$$W = F_{\text{Hub}} s \quad \vec{F}_{\text{Hub}} = -\vec{F}_q \quad F_{\text{Hub}} = Eq$$

$$W = qEs$$

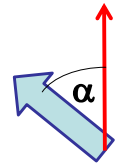
## Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung schräg zu den Feldlinien:



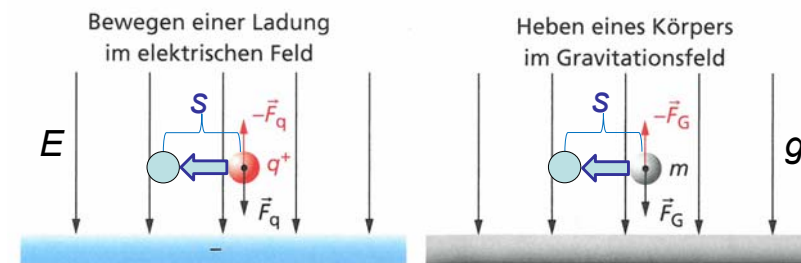
$$W = F_{\text{Hub}} s \cos \alpha \quad \vec{F}_{\text{Hub}} = -\vec{F}_q$$

$$F_{\text{Hub}} = Eq \quad W = qEs \cos \alpha$$



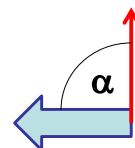
## Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung senkrecht zu den Feldlinien:



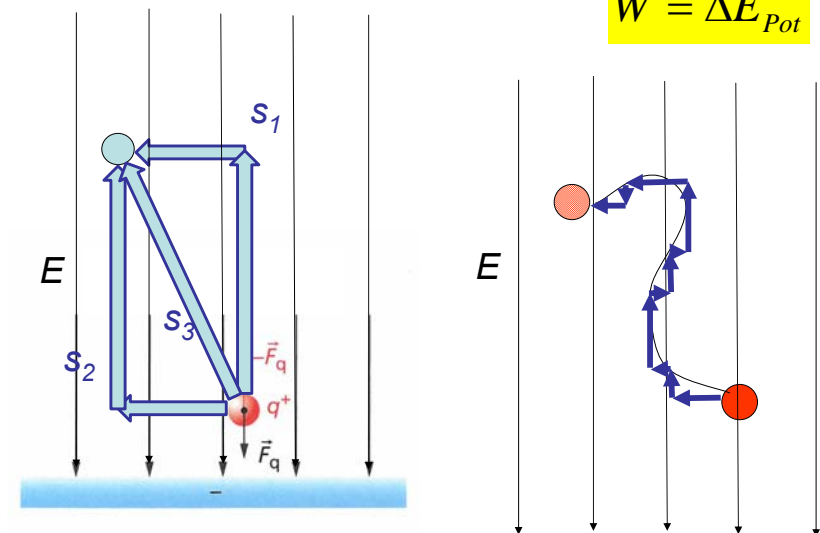
$$W = F_{\text{Hub}} s \cos \alpha = 0$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \cos \alpha = 0$$



W ist unabhängig vom Weg!

$$W = \Delta E_{\text{Pot}}$$



## Elektrisches Potential

Man braucht  $W_{0 \rightarrow i}$  Energie um eine  $q$  Probeladung aus einem  $P_0$  Bezugspunkt zum Punkt  $P_i$  zu bringen.

$\frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$  ist unabhängig von der Probeladung und vom Weg!

Elektrisches Potential:  
Einheit: Volt [V]

$$\varphi_i = \frac{W_{0 \rightarrow i}}{q} \quad 1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$$



## Spannung

Elektrische Spannung zwischen zwei Punkten  $P_1$   $P_2$   
(Spannung des Punktes  $P_2$  gegenüber  $P_1$ )

$$U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} \quad \text{Einheit: Volt [V]}$$



Bemerkungen:

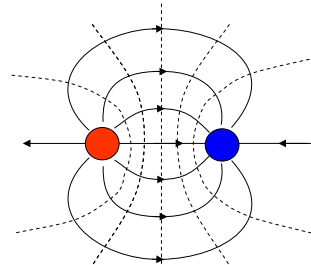
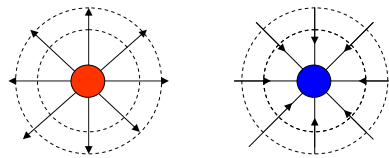
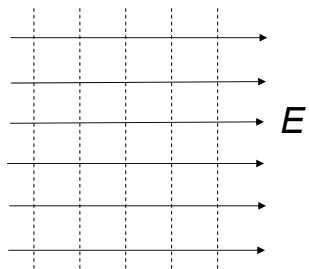
$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

Wenn  $U_{21} > 0 \Rightarrow P_2$  ist „positiver“ als  $P_1$

$$U_{21} = -U_{12}$$

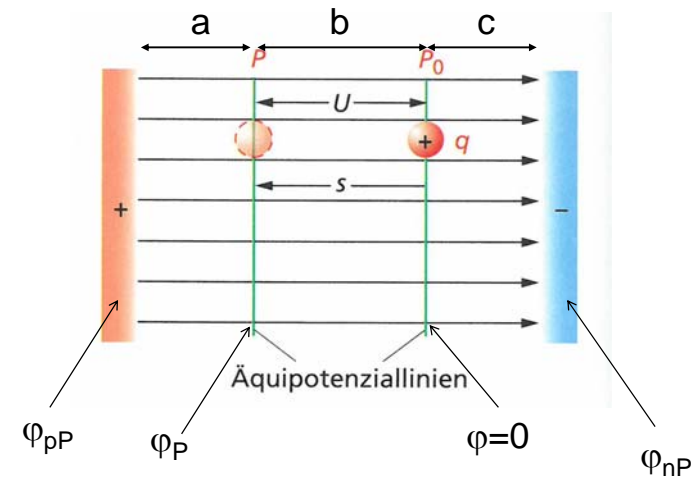
In homogenem Feld:  $U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} = \frac{q|\vec{E}|s}{q} = Es$

## Äquipotentialflächen



Äquipotentialflächen  
verlaufen senkrecht zu den  
Feldlinien

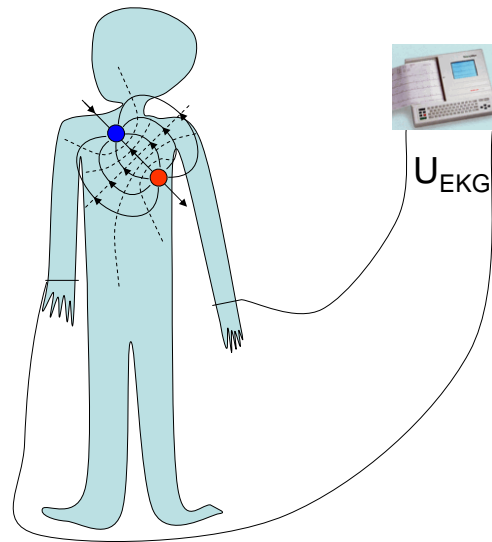
Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!



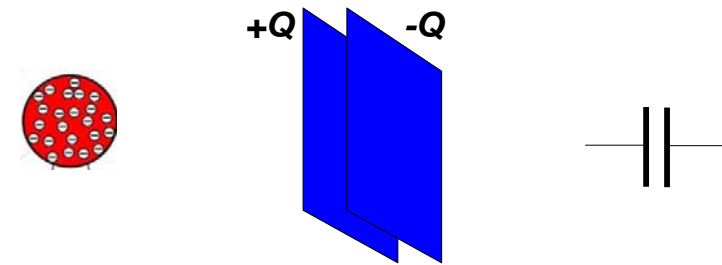
zB:  $E = 140 \text{ N/C}$ ,  $a = 2 \text{ cm}$ ,  $b = 3 \text{ cm}$ ,  $c = 2 \text{ cm}$

$\varphi_{PP} = ?$   $\varphi_P = ?$   $\varphi_{nP} = ?$

## Medizinische Anwendung: EKG



## Ladungsspeicherung



Kondensator

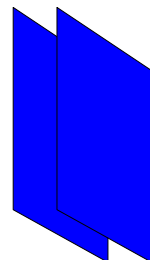
## **Kapazität** des Kondensators

$Q = C U$       Ladungsspeicherungsfähigkeit

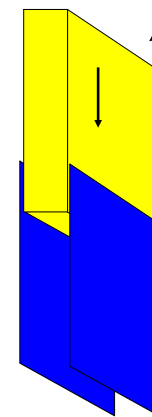
$C = \frac{Q}{U}$       Einheit: Farad, F       $1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}}$

Für Plattenkondensator gilt:

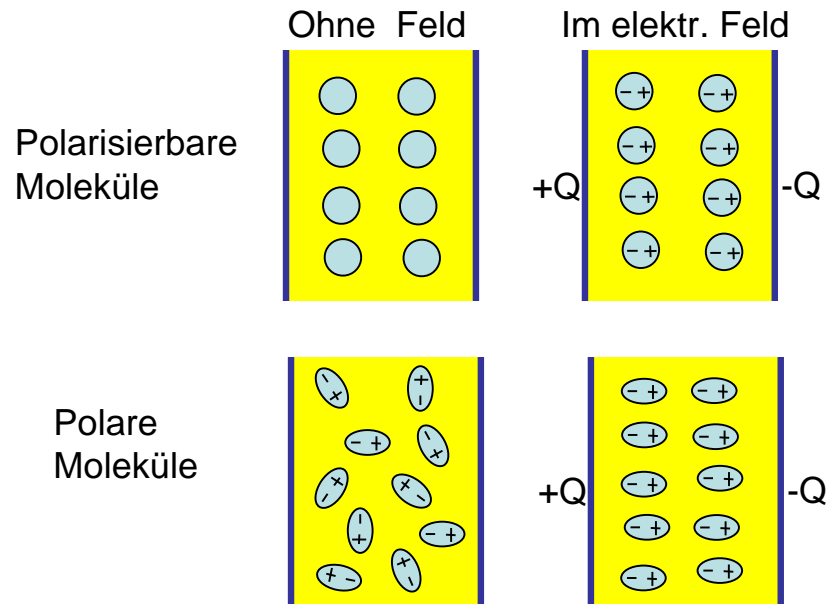
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Dielektrikum zwischen  
Kondensatorplatten



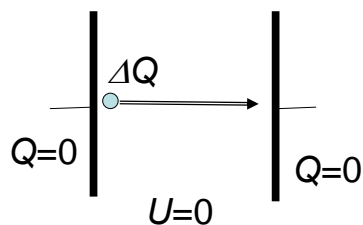
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$



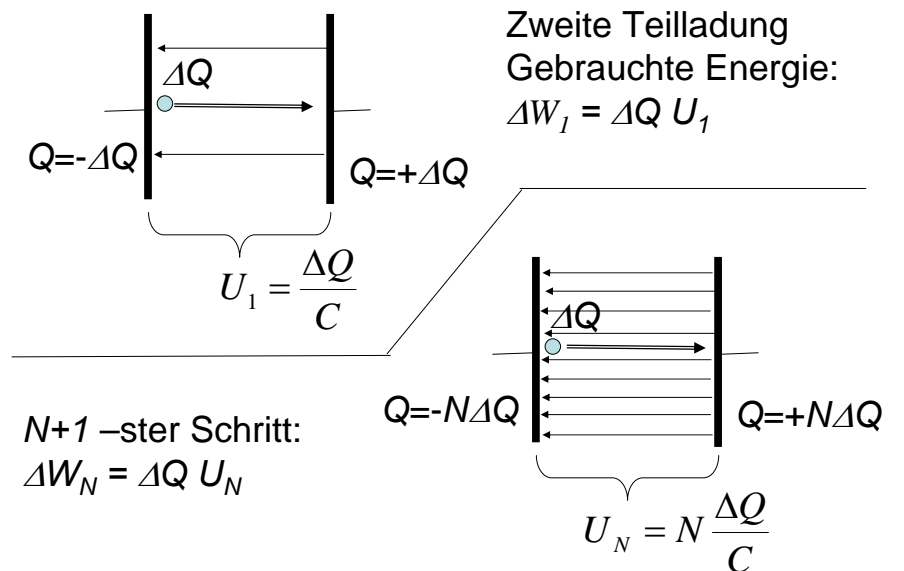
## Energiespeicherung im Kondensator

Welche Energie ist nötig um einen Kondensator mit  $Q$  Ladung an  $U$  Spannung aufzuladen?

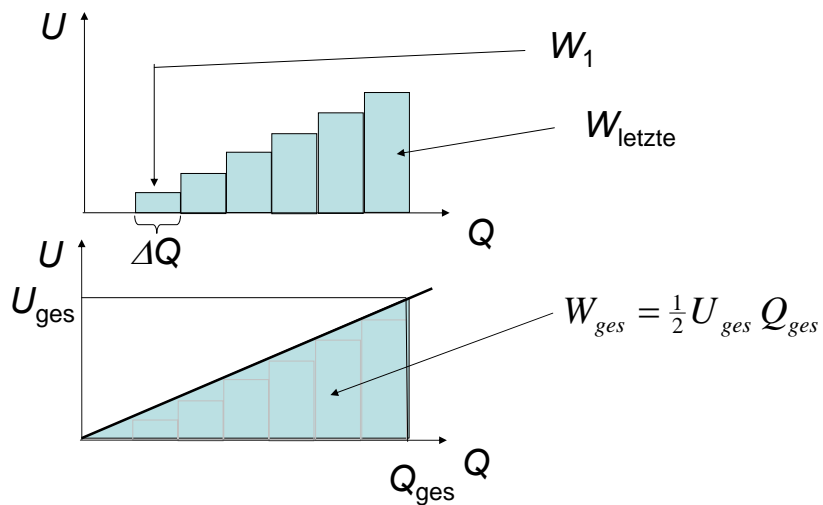
Aufladung in kleinen Schritten:  
 $\Delta Q$  Teilladung wird von einer Platte zur anderen Platte gebracht



Erste Teilladung:  
 Ohne Energie!  
 Kein Feld !



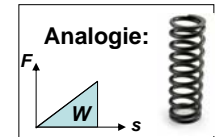
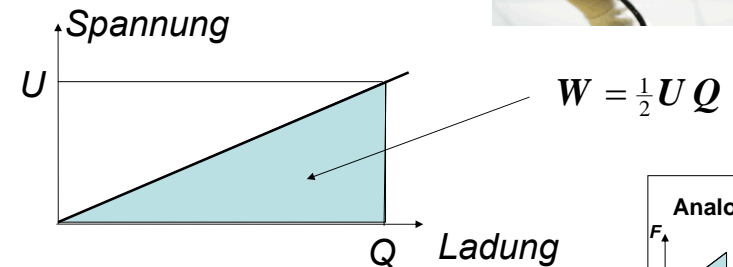
## Graphische Darstellung der Aufladungsenergie



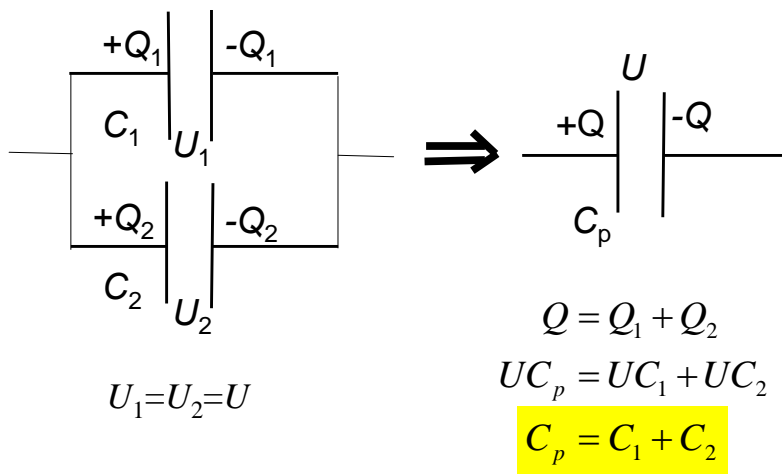
## Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

$$W = \frac{1}{2} U Q = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

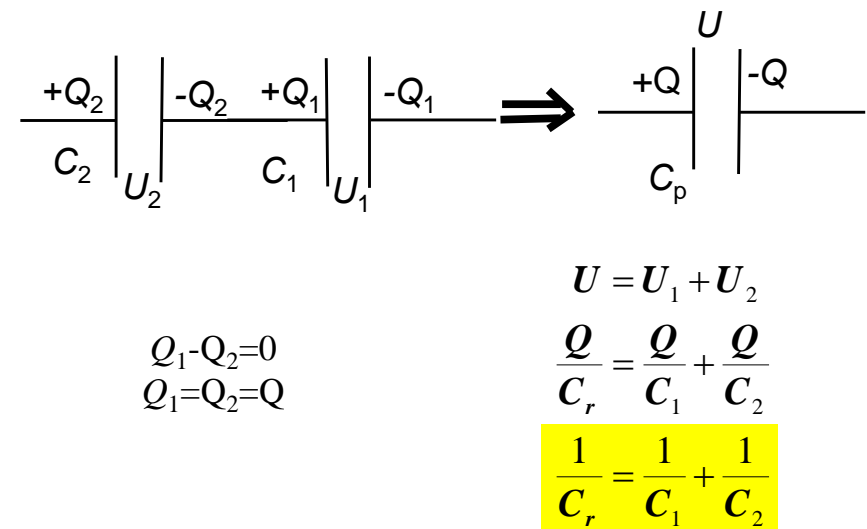
$(Q = UC)$



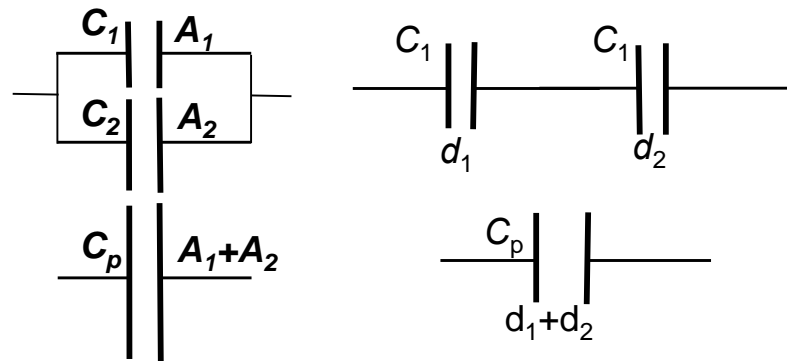
## Parallelschaltung von Kondensatoren:



## Reihenschaltung von Kondensatoren:



Parallel und Reihenschaltung von Kondensatoren:



$C \sim A$

$$C_p = C_1 + C_2$$

$C \sim 1/d \quad d \sim 1/C$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Parallel- und Reihenschaltung von mehreren Kondensatoren:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$



Elektrischer Strom

Elektrischer Strom

Strom = Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

Strom im Gas

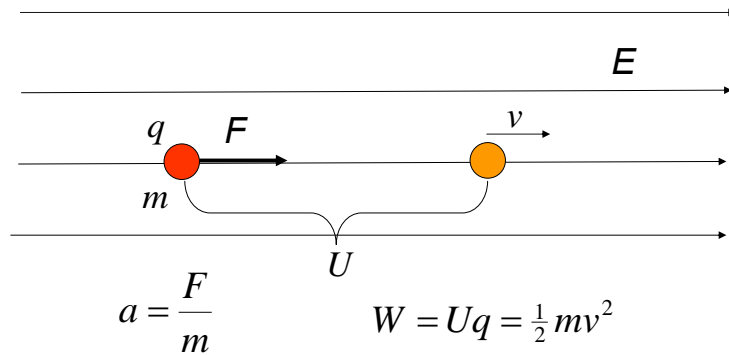
Strom in Flüssigkeit (Lösung)

Strom im Festkörper

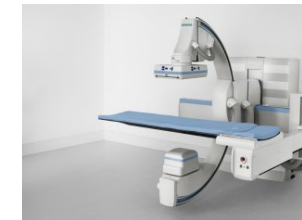
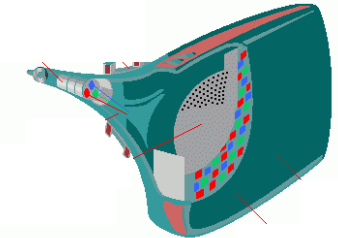


## Strom im Vakuum:

Freie Ladungsträger werden im elektrischen Feld beschleunigt :

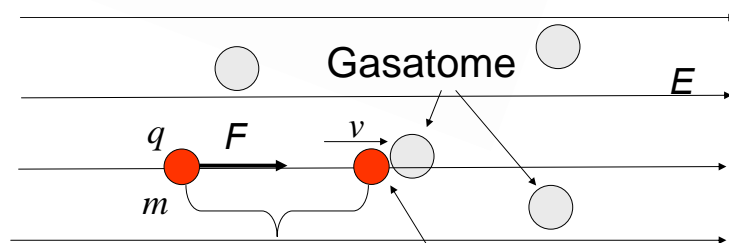


Elektrische Energie => mechanische Energie



## Strom im Gas

Ladungsträger: Ionen und Elektronen



Freier Weg  
(Beschleunigung)

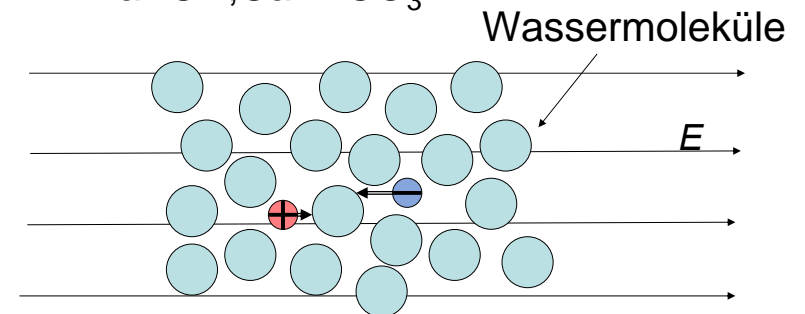
Elastischer  
Zusammenstoß

Abbremsung, Energieübergabe  
=> Wärme, Licht

$T \sim$  durchschnittliche kin. E

## Strom in Lösungen

Elektrolyt: Ionen + und -  
z.B.  $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+} \text{CO}_3^{2-}$

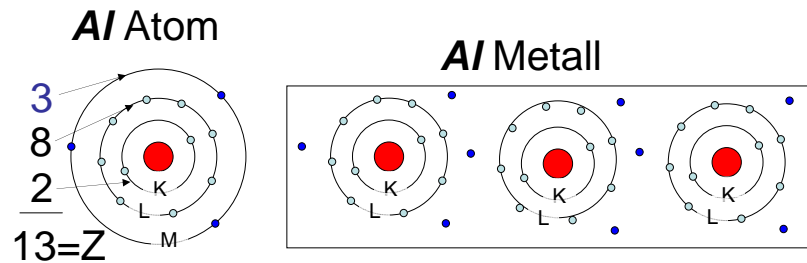


Elektrische Energie => Wärme  
+ chemische Energie



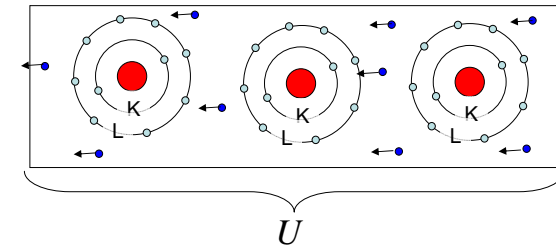
## Strom in Metalle

Metall: Feste Atomkerne mit  
geschlossenen Elektronenhüllen  
Die Elektronen der äußere Hüllen  
bewegen sich frei. (Sie sind  
„kollektive“ Elektronen)



## Strom in Metalle:

Wanderung der Elektronen.



Zusammenstoß mit der Atome =>

=> Wärme

Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bemerkung: Wärmebewegung (km/s)

Strombewegung (mm/s)

(Driftgeschwindigkeit)

Analogie: Warenhaus



## Elektrische Stromstärke

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Durch einen  
Leiterquerschnitt  
während  $\Delta t$  Zeit  
durchgeflossene  
Ladung

Einheit: Ampere (A)

$1A = 1C/1s$

Konventionelle Stromrichtung: Bewegungs-  
richtung der positive Ladungen.

## Wirkungen des Stromes

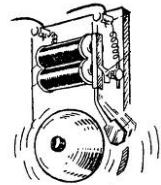
Wärmewirkung

Chemische Wirkung

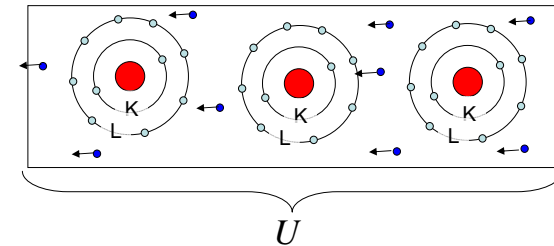
Magnetische Wirkung

(Biologische Wirkung)

(Lichtwirkung)



## Strom in Metalle: Wanderung der Elektronen.



Zusammenstoß mit der Atome =>

=> Wärme

Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bei Metallen gilt ein Zusammenhang  
zwischen der Spannung und Stromstärke:

$$I \sim U$$

d.h.  $U/I$  ist konstant. Diese Konstante wird  
als **Widerstand** bezeichnet:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Einheit : Ohm } \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

↑  
Ohmsches Gesetz

## Spannung und Stromstärke

